

RELIABILITY PADA SISTEM AIR CONDITIONING (AC) PESAWAT TERBANG TIPE BOEING (B737NG) (STUDI KASUS : GMF-AEROASIA ” PADA PERMASALAHAN AIR CONDITIONING PRODUCES HOT AIR ON GROUND ”)

Surianta Ikhsan, Witantyo

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: witantyo@me.its.ac.id

Abstrak— *Air conditioning* (AC) adalah salah satu sistem untuk mendukung kenyamanan dan keselamatan penumpang pesawat terbang. Beberapa kemungkinan kerusakan yang terjadi pada AC pesawat terbang disebabkan oleh faktor umur dan faktor perawatan pesawat terbang. Saat ini permasalahan utama adalah *air conditioning produce hot air on ground*. berdasarkan data *pilot report* B737NG di GMF Aeroasia

Penelitian membahas permasalahan pada AC pesawat agar dapat meminimalkan permasalahan *air conditioning produces hot air*. Tahapan pada penelitian ini adalah mempelajari sistem kerja AC pesawat terbang, mencari penyebab terjadinya permasalahan menggunakan metoda RCFA, dan memberikan solusi terhadap permasalahan ini

Hasil penelitian menunjukkan bahwa permasalahan *air conditioning produce hot air on ground* dikarenakan masuknya kotoran dalam *Heat exchanger* (Hx) yang kemudian menjalar masuk ke *air cycle machine* (ACM). Oleh sebab itu pembersihan Hx harus dilakukan dalam jangka waktu yang lebih pendek. Dalam *standard maintenance manual* GMF-Aeroasia menunjukkan interval pembersihan Hx 2000 FC, maka penjadwalan perawatan tersebut disarankan untuk diubah menjadi sekitar 1000 FC agar kondisi Hx menjadi lebih bersih.

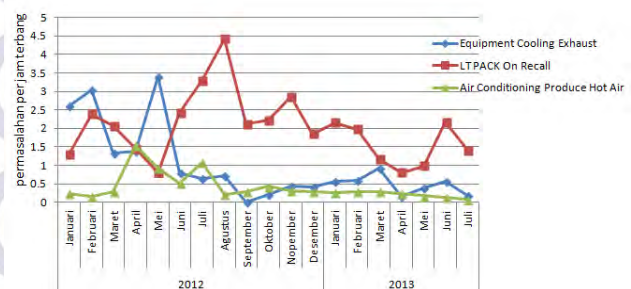
Kata Kunci : *maintenance air conditioning pesawat B737NG, air conditioning produced hot air on ground, Root Cause of Failure Analysis (RCFA), studi kassus GMF-Aeroasia*

I. PENDAHULUAN

Air conditioning (AC) adalah salah satu sistem untuk mendukung kenyamanan dan keamanan penumpang pesawat terbang. AC pesawat berfungsi sebagai pengendali tekanan dan suhu ruangan di dalam pesawat. Mengingat pentingnya peran AC maka *maintenance* yang dilakukan juga harus diperhatikan dengan baik. Sistem AC pesawat terbang dibagi atas 4 bagian yaitu *distribution, cooling system, temperature control*, dan *pressuritation*. Di bagian *temperature control* terdapat komponen tambahan yang disebut *control panel*. *Control panel* yang berada di *cockpit* pilot berfungsi sebagai pengendali dan *monitoring* proses *air conditioning* didalam pesawat. Apabila terjadi kerusakan pada salah satu bagian system AC maka pilot akan bisa memonitor langsung sehingga pilot bisa mengetahui dan

mencatat kerusakan yang terjadi pada bagian-bagian yang ada pada *air conditioning*.

Kerusakan yang bisa terjadi pada AC pesawat digolongkan menjadi kerusakan ringan dan berat yang menyebabkan suhu di dalam kabin pesawat lebih tinggi daripada suhu standar. Kerusakan ringan misalnya adalah kerusakan pada *cabin temperature sensor filter* yang menyebabkan udara tidak tersaring dengan baik, sehingga *temperature sensor* tidak dapat mendeteksi temperatur yang sebenarnya. Kerusakan seperti ini bisa diatasi dalam waktu singkat dengan mengganti atau membersihkan filter tersebut. Kerusakan yang dianggap berat adalah kerusakan yang membutuhkan waktu lama untuk memperbaikinya dan hanya bisa dilakukan saat pesawat melakukan *maintenance* rutin di GMF-Aeroasia.



Gambar 1 Grafik pilot report rate

Pilot report yang diberikan oleh GMF Aeroasia berisikan masalah terkait dengan ketidak-normalan sistem di pesawat terbang. Data-data tersebut didapatkan dari bulan Januari 2012 sampai dengan bulan Juli 2013. Dari data tersebut maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah pengklasifikasian tentang permasalahan yang dominan. Gambar 1.1 menunjukkan grafik perkembangan *maintenance* yang didapat dari kumpulan data-data problem di data *pirep (pilot report)* dari GMF Aeroasia.

Dari grafik dapat disimpulkan terdapat tiga permasalahan. Ketiga permasalahan tersebut adalah *equipment cooling exhaust*, *LT Pack On Recall*, dan *air conditioning produces hot air*. Permasalahan *equipment cooling exhaust* dari bulan Januari 2012 hingga Juli 2013 menunjukkan tren yang menurun. Begitu pula permasalahan *LT Pack On Recall* yang menunjukkan tren yang menurun juga. Tren yang menurun berarti masalah tersebut sudah mulai teratasi. Disisi lain, data permasalahan *air conditioning produces hot air* menunjukkan tren yang stagnan. Hal ini menunjukkan bahwa masalah *air conditioning produces hot air* belum teratasi walaupun jumlahnya tidak terlalu besar. Pengklasifikasian lebih lanjut tentang permasalahan tersebut

didapatkan hasil data lebih sering terjadi permasalahan AC ketika pesawat masih berada di darat (*air conditioning produces hot air on ground*).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui akar permasalahan *air conditioning produces hot air on ground*. Kemudian, peneliti akan mengusulkan beberapa solusi dan optimasi yang harus dilakukan pada AC pesawat tersebut supaya mendapatkan *reliability* yang lebih baik.

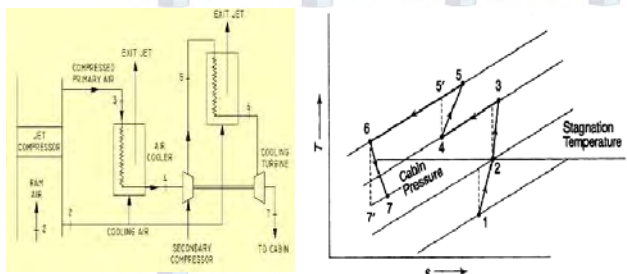
II. URAIAN PENELITIAN

a. Sistem Kerja Air Conditioning

Air conditioning (AC) pesawat berfungsi mengendalikan tekanan dan suhu ruangan dalam pesawat, seperti dalam ruangan awak pesawat, ruangan penumpang, dan ruang peralatan. Peningkatan tekanan dilakukan dengan mengompresikan udara luar pesawat menggunakan kompresor gas turbin. Udara bertekanan ini kemudian disalurkan melalui penukar panas yang didinginkan oleh udara luar pada kondisi ketinggian yang memiliki suhu sangat dingin. Untuk menambah kapasitas pendinginan, udara bertekanan yang telah dingin tersebut diexpansikan pada sebuah turbin sebelum akhirnya didistribusikan kedalam kabin pesawat. Pertimbangan AC pesawat menggunakan sistem tersebut adalah :

1. Udara sebagai media pendingin sehingga tidak diperlukan biaya *refrigeran*.
2. Berat peralatan dibanding kapasitas pendinginan pada AC pesawat jauh lebih ringan dibanding dengan sistem pendinginan konvensional (*refrigerant cycle*)
3. Pengendalian tekanan kabin (*cabin pressurization*) dan pendinginan udara dapat dikombinasikan dalam satu operasi
4. Energi yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem siklus udara ini didapatkan dari tekanan udara keluar (*bleed air*) dari kompresor mesin jet sehingga tidak membutuhkan sumber energi tambahan lainnya.
5. Peralatan lebih sederhana dan perawatannya lebih mudah

Diagram kerja dari sistem refrigerasi pada pesawat terbang secara umum dapat dilihat pada gambar 2.1. berikut ini :



Gambar 2.1 Diagram T-S untuk Sistem Bootstrap [2]

Proses yang terjadi :

1 – 2 : Proses stagnasi udara. Proses ini terjadi ketika udara dari luar (*ambient air temperature*) mengalir masuk ke

dalam disfuser kompresor *jet engine*, pada proses ini terjadi kenaikan tekanan dan suhu udara akibat perlambatan kecepatan.

2 – 3 : Proses kompresi udara. Di sini udara dikompresikan, idealnya proses ini terjadi pada entropi konstan (*isentropi*) tetapi tekanan, suhu dan entalpi naik. Proses ini dilakukan oleh kompresor mesin pesawat dan sejumlah 6-7% udara terkompresi dialirkan ke sistem pengkondisian udara

3 – 4 : Proses pendinginan pada *primary heat exchanger*. Udara terkompresi mengalami penurunan temperature pada tekanan konstan karena mengalami pertukaran panas dengan udara luar.

4 – 5 : Proses kompresi pada kompresor ACM (*Air Cycle Machine*). Udara mengalami proses kompresi sehingga menimbulkan kenaikan tekanan dan suhu, proses ini dilakukan oleh kompresor pada ACM.

5 – 6 : Proses pendinginan pada *secondary heat exchanger*. Pada proses ini udara terkompresi mengalami proses penurunan suhu lagi pada tekanan konstan atau terjadi pada proses isobar.

6 – 7 : Proses ekspansi pada turbin. Pada proses ini terjadi ekspansi udara oleh turbin sehingga udara mengalami penurunan tekanan dan suhu. Suhu dan tekanan yang didapatkan biasanya melebihi standar sehingga dilakukan *mixing* sebelum udara dapat didistribusikan menuju kabin.

Air Cycle Machine (ACM) adalah unit *refrigerasi* yang digunakan dalam pesawat, umumnya pesawat mempunyai 2-3 unit yang tersusun yang disebut dengan "*pack*". ACM terdiri dari satu kompresor, 2 *heat exchanger* dan sebuah turbin ekspansi. Fungsi turbin adalah untuk mengekspansikan udara bertekanan sehingga menurunkan temperaturnya. Turbin dan kompressor tersebut terletak pada posisi di dalam satu poros, maksudnya adalah apabila kompressor bekerja maka turbin juga ikut bekerja yang dikarenakan oleh satu poros tersebut.

Secara rinci kerja ACM adalah sebagai berikut. Dimulai dari udara yang keluar pada *turbo jet fan compressor* memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi. Kemudian udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi tersebut disalurkan ke dalam *heat exchanger* (*Primary heat exchanger*). Proses didalam *heat exchanger* ini terjadi perubahan temperatur dan tekanan, yaitu dari penurunan temperatur dan tekanan. Setelah proses *heat exchanger*, udara yang keluar dari *heat exchanger* yang sudah terkondisikan tersebut masuk ke dalam *compressor*. Didalam *compressor* tersebut terjadi perubahan tekanan dan temperatur. Udara keluaran dari *compressor* tersebut menghasilkan kenaikan pada temperatur dan tekanan. Udara terkondisi yang berada pada saluran keluar *compressor* tersebut, kemudian disalurkan kembali ke dalam *heat exchanger* (*secondary heat exchanger*). Didalam *heat exchanger* tersebut terjadi penurunan temperatur dan tekanan yang sebelumnya udara mengalami kenaikan di temperatur dan tekanan pada posisi keluar *compressor*. Dari *heat exchanger*, udara masuk ke turbin, di sini udara mengalami proses ekspansi sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Setelah dari turbin udara mempunyai kelembaban tinggi, oleh karena itu udara disalurkan ke *water separator* (pemisah cairan). Di dalam alat ini terjadi pemisahan uap air yang berlebihan dari udara, sehingga udara mengalami penurunan suhu. Selain itu terjadi pembersihan udara dengan menyaring kotoran yang dikandung. Bentuk alat ini menyerupai kerucut yang didalamnya terdapat semacam saringan (*filter*). Inilah akhir

dari proses pendinginan yang selanjutnya didistribusikan ke kabin penumpang. Sistem AC pesawat harus bisa bekerja baik saat pesawat ada di darat atau di udara. Uraian berikut menjelaskan perbedaan saat AC pesawat bekerja di darat (*on the ground*) dan di udara (*in flight*).

b. Siklus Kerja AC di darat

Ketika pesawat berada di darat, pasokan udara bertekanan (*bleed air*) berasal dari APU (*auxiliary power unit*) atau *Ground Support Equipment (Ground Power Unit)*. APU adalah jet engine ukuran kecil sebagai sumber energi cadangan yang digunakan pesawat terbang yang terletak di bagian belakang (ekor) pesawat. Jika mesin utama mati maka APU berfungsi menghasilkan *bleed air* bertekanan dari kompressornya. Jika tekanan dan volume *bleed air* dari APU dianggap kurang maka disediakan GPU sebagai penambah *bleed air*. *Bleed air* dari GPU dihasilkan oleh kompresor yang diputar oleh mesin diesel. Selain GPU ada juga MACU (*Mobile Air Conditioning Unit*) yang langsung bisa menyediakan udara dingin untuk kabin pesawat. GPU dan MACU adalah dua dari beberapa fungsi *Ground Support Equipment (GPU)* yang disediakan oleh bandara.

Pada saat pesawat berada di darat dan *bleed air* disupply oleh APU maupun GPU, sistem AC pesawat tetap harus bekerja. Pada saat inilah kemungkinan terjadinya penurunan kapasitas pendinginan karena kedua *Heat Exchanger* hanya didinginkan oleh udara luar yang suhunya 30-35 °C sehingga temperatur *bleed air* menjadi kurang rendah.

Untuk membantu pendinginan oleh udara luar, dimanfaatkan juga penggunaan air bertemperatur rendah dari water separator sebagai pendingin *heat exchanger*, yaitu dengan jalan mengalirkan air tersebut ke bagian dalam saluran ram air. Air ini akan keluar dalam bentuk kabut (*spray*), sehingga uap air yang keluar terbawa oleh udara luar sehingga pendinginan dapat dilakukan dengan prinsip *evaporative cooling*.

c. Siklus Kerja di Udara

Pada kondisi terbang, udara yang akan disuplai ke dalam unit pendingin diperoleh dari kompresor turbo jet. Kompresor tersebut terdiri dari kompresor yang bertingkat banyak untuk mensuplai udara dalam keadaan putaran mesin yang tinggi, sedangkan jika mesin dalam keadaan putaran rendah maka kompresor yang bertingkat lebih tinggi akan mengambil alih secara otomatis. Setelah *turbo jet compressor*, udara masuk kedalam ACM (*Air Cycle Machines*).

Udara yang akan masuk ke dalam unit pendinginan mempunyai tekanan dan temperatur maksimal tertentu, pengaturan tekanan dilakukan oleh *bleed valve*. Sedangkan temperatur yang keluar dari mesin melebihi dari batas maksimum, maka *precooler* akan membatasi temperatur udara yang keluar dengan mendinginkannya memakai *fan stage*.

Untuk pendinginan pada *heat exchanger* digunakan udara luar (*ambient air*) yang bertemperatur dan bertekanan sangat rendah. Udara pendingin ini bertemperatur -30 sampai dengan -40 °C yang dikarenakan prinsip tekanan dan temperatur ketika pesawat berada di udara berbanding terbalik. Jadi semakin tinggi tekanan udara maka temperatur

udara tersebut semakin rendah dan tergantung dari ketinggian terbangnya pesawat terbang yang menimbulkan tekanan. Udara ini masuk ke dalam *heat exchanger* melalui suatu aliran masuk (*ram air inlet*). Aliran udara yang masuk melalui saluran udara ini diatur volume alirannya oleh sebuah penutup berbentuk sirip (*ram door*) sesuai dengan beban yang hendak diinginkan. Setelah mendinginkan *heat exchanger*, udara luar ini dibuang melalui saluran buang (*ram air exhaust louver*).

Ketika dalam keadaan terbang, adakalanya udara hasil pengkondisian memiliki temperatur yang terlalu rendah dari yang diharapkan. Untuk mengatasi hal itu maka dilakukan pencampuran dengan dengan udara panas yang diatur oleh beberapa katup yang mengatur terjadinya pencampuran tersebut. Dengan hal begini maka akan diperoleh temperatur seperti yang diinginkan. Adapun katup-katup tersebut adalah :

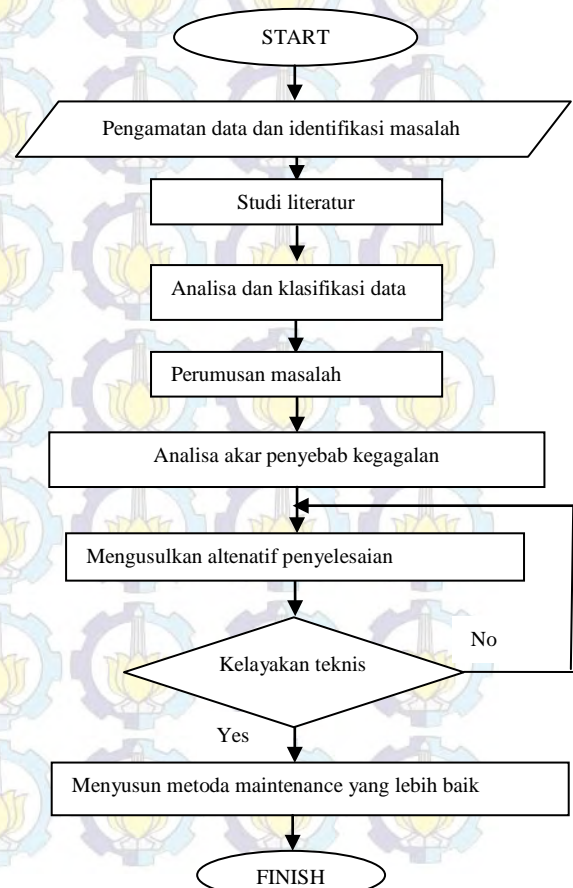
1. Katup pencampuran udara (*air mix valve*)

Katup ini akan terbuka meneruskan udara panas dari turbo jet, sehingga dapat dialirkan langsung (*by pass*) ke ruang pencampur (*mixing chamber*)

2. Katup anti beku (*anti ice valve*)

Katup ini berfungsi untuk melewatkan udara dari *heat exchanger* langsung menuju *water separator*, sehingga apabila terjadi gumpalan es pada *water separator*, dapan segera dicairkan, dan udara dapat melewati *water separator* dengan baik tanpa ada penyumbatan.

III. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengamatan data dan identifikasi masalah

Langkah awal penelitian ini adalah pengamatan tentang data kerusakan khususnya pada AC pesawat yang diberikan PT. GMF-Aeroasia. Data tersebut dari bulan Januari 2013 hingga Juli 2014 dengan tiga problem yang diberikan. Proses pengamatan data dilakukan dengan pengelompokan problem yang terdapat di data lalu di tampilkan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut digunakan sebagai identifikasi masalah yang lebih sering terjadi dari data problem pada AC pesawat terbang. Kemudian didapatkan hasil bahwa problem *air conditioning produces hot air* adalah problem yang harus ditangani.

2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari literatur yang mendukung dari buku-buku referensi dan data-data yang ada di lapangan dari PT. GMF-Aeroasia. Pada tahap ini didapatkan studi literatur yang mendukung dalam menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan.

3. Analisa dan klasifikasi data

Proses analisa dan klasifikasi data adalah pengelompokan lebih detail dari problem *air conditioning produces hot air*. Dari proses ini maka didapatkan problem tersebut lebih banyak terjadi kerusakan pada AC pesawat ketika berada di darat. Selanjutnya menganalisa data tersebut dengan mencari penyebab terjadinya problem tersebut.

4. Perumusan masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah apa saja penyebab terjadinya problem *air conditioning produces hot air* pada AC pesawat terbang; mencari alternatif solusi yang dapat diberikan setelah menganalisa problem yang terjadi pada AC pesawat terbang; sehingga dapat diketahui bagaimana melakukan maintenance pada AC pesawat terbang supaya mendapatkan *reliability* yang lebih baik.

5. Analisa akar penyebab kegagalan

Analisa akar penyebab kegagalan dilakukan dengan cara mencari komponen yang sering menyebabkan problem *air conditioning produces hot air on ground*. Analisa tersebut menggunakan data pilot report yang diberikan PT. GMF-Aeroasia. Hasil analisa adalah berupa bentuk grafik jumlah komponen AC pesawat yang menyebabkan problem *air conditioning produces hot air on ground* per bulannya. Setelah mendapatkan hasil analisa tersebut, dilakukan proses analisa penyebab kegagalan dan solusi yang didapatkan untuk komponen tersebut.

6. Mengusulkan alternatif penyelesaian

Langkah awal dalam mengusulkan alternatif penyelesaian (solusi) adalah mencari literatur tentang

maintenance komponen AC pesawat dan contoh gambar kerusakan yang terjadi pada komponen AC pesawat. Kemudian yang dilakukan dalam metode ini adalah menganalisa proses optimasi yang cocok dengan komponen AC pesawat tersebut. Selanjutnya adalah menganalisa hasil proses optimasi dengan menggunakan alat analisa berupa software statistik. Alat analisa ini digunakan agar dapat mengetahui kelayakannya.

7. Kelayakan teknis

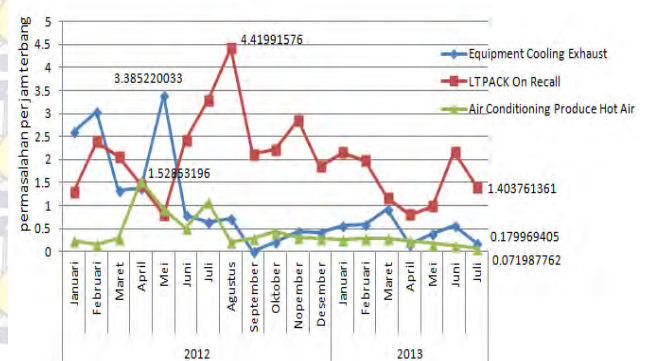
Pengertian kelayakan teknis di metode ini adalah kelayakan teknis yang berkaitan dengan teknologi *maintenance* yang nantinya akan diterapkan pada sistem yang akan dikembangkan dengan menghitung dari data permasalahan AC pesawat dengan beberapa sample pesawat terbang B737NG per harinya yang didapat di GMF-Aeroasia. Beberapa usulan tersebut disesuaikan dengan pihak GMF-Aeroasia terkait sesuai atau tidaknya.

8. Menyusun metode *maintenance* yang lebih baik

Di tahap terakhir ini adalah pembuatan metode *maintenance* yang jelas dari usulan proses optimasi yang dianggap sudah baik. Hasil yang diharapkan adalah sistem *reliability* yang lebih baik lagi dari proses optimasi tersebut.

VI. HASIL DAN DISKUSI

Pembahasan pada Tugas Akhir ini dimulai dari analisa permasalahan yang terdapat pada data di GMF Aeroasia. Analisa data pertama yang diberikan adalah data *flight hours* yang berada pada lampiran 1. Data *flight hours* di hitung dari rata-rata waktu pesawat itu bekerja tiap bulannya. Selain dari data *flight hours*, diberikan juga data perawatan pesawat di GMF Aeroasia tiap bulannya yang berada pada lampiran 2. Data perawatan tersebut kemudian diklasifikasikan dari tiap-tiap problemnya. Langkah pengklasifikasian bertujuan agar memudahkan mendapatkan problem tiap bulannya. Kedua data dianalisa dengan menghitung *problem di data perawatan tiap bulannya* $\times 1000 \div \text{flight hours total}$. Hasil dari perhitungan tersebut, terletak pada tabel 4.1. Hasil analisa tersebut digunakan untuk mendapatkan grafik PILOT REPORT RATE tiap bulannya. Grafik *Pilot Report (PIREP) Rate* tersebut bisa dilihat pada Gambar 4.1.



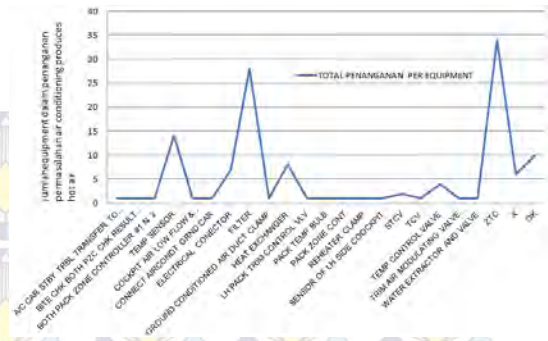
Gambar 4.1. Grafik PIREP RATE tiap bulan

Pada problem *equipment cooling exhaust* dibulan juni 2012 menunjukkan hasil yang sangat besar yaitu 4,41991576. Kemudian mengalami penurunan yang sangat drastis hingga bulan april 2013. Setelah bulan april 2013, data problem *equipment cooling exhaust* pada grafik *pirep rate* ini menunjukkan angka 1,403761361 dibulan juli 2013. Menurut gambar 4.1, pada problem *equipment cooling exhaust* menunjukkan hasil yang paling besar dibandingkan dengan problem yang lain yaitu 4,41991576. Akan tetapi problem ini menunjukkan tren grafik yang menurun drastis hingga bulan juni 2013 yaitu 1,403761361. Rasio naik turunnya dari problem tersebut di gambar 4.1 adalah 3,0. Hal tersebut mengartikan bahwa problem tersebut sudah tertangani dengan baik di GMF AEROASIA.

Problem *LT Pack On Recall* pada gambar grafik PIREP RATE tersebut menunjukkan angka 3,385220033 dibulan Mei 2012. Angka tersebut menunjukkan angka yang paling besar untuk problem *Lt Pack On Recall*, yang dapat diartikan bahwa pada problem *LT Pack On Recall* dibulan mei 2012 bahwa problem *LT Pack On Recall* lebih banyak dibanding dengan *flight hours*-nya. Pada bulan juni 2013, problem *LT Pack on Recall* menunjukkan angka 0,179969305. Hal ini menunjukkan problem *LT Pack On Recall* sudah bisa dianggap terselesaikan yang sama dengan problem equipment cooling exhaust pada gambar grafik 4.1 karena menunjukkan tren grafik yang menurun, dari 3,38522003 menjadi 0,179969305.

Untuk gambar tren grafik pada *problem air conditioning produces hot air* menunjukkan angka 1,52853196 pada bulan april 2012. Dan menunjukkan angka 0,071987762. Pada gambar tren grafik tersebut didapatkan hasil bahwa permasalahan *air conditioning produces hot air on ground* masih menunjukkan tren grafik yang masih stagnan. Hal ini menunjukkan permasalahan yang didapat di GMF masih belum dapat teratasi. Berbeda dengan tren grafik yang ditunjukkan pada permasalahan *equipment cooling exhaust* dan *LT pack on recall* yang telah menunjukkan tren grafik yang cukup menurun / tidak stagnan. Hal tersebut juga dapat dibandingkan pada perbandingan rasio turunnya grafik pada masing-masing problem. Problem *air conditioning produces hot air* memang tidak menunjukkan angka paling tinggi pada gambar grafik tersebut, akan tetapi perbandingan rasionya perubahan tiap bulan pada problem *air conditioning produces hot air* adalah yang paling kecil atau ditunjukkan pada gambar grafik menunjukkan tidak adanya perubahan garis grafik (stagnan). Maka dari itu problem *air conditioning produces hot air* tersebut disimpulkan masih belum terselesaikan di GMF Aeroasia.

Menurut data pengklasifikasian permasalahan *air conditioning produces hot air*, permasalahan *air conditioning produces hot air* terjadi saat pesawat berada pada posisi *on ground* atau posisi pesawat belum terbang (*air conditioning produces hot air on ground*). Data PIREP ini kemudian diklasifikasikan pada bagian action yang dilakukan oleh pihak GMF-Aeroasia. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada gambar 4.2.



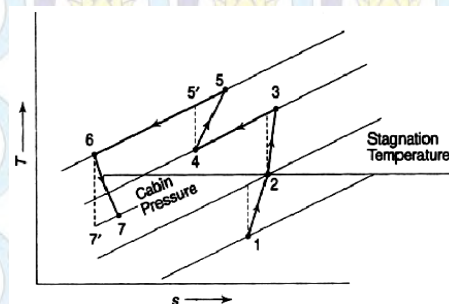
Gambar 4.2 Grafik penanganan per equipment pada data *problem air conditioning produces hot air on ground* oleh pihak GMF-Aeroasia

Di dalam gambar grafik 4.2 dijelaskan bahwa dari bulan agustus 2012 sampai maret 2013 analisa penyelesaian yang dilakukan untuk permasalahan AC *produces hot air on ground* adalah pejadwalan pergantian rutin pada filter di beberapa bagian AC pesawat. Selain penanganan tersebut, penanganan lainnya yang ditunjukkan pada grafik adalah penanganan untuk *equipment ZTC* dan *temp. sensor*. Hal tersebut telah ditunjukkan dari data *action* PIREP yang telah diberikan oleh pihak GMF AEROASIA. Menurut data tersebut, pergantian rutin untuk filter, ZTC, dan *temp. sensor* adalah *action* pada overhaul kecil atau tidak membutuhkan waktu yang sedikit agar tidak terjadinya delay pada pesawat yang terlalu lama dari permasalahan tersebut.

Berdasarkan dari hasil gambar 4.2, selain dari penanganan *filter*, *ZTC*, dan *temp.sensor*, penanganan lainnya yang dilakukan adalah penanganan di Hx. Menurut gambar 4.2, penanganan Hx menunjukkan kurva yang paling rendah. Hal ini dikarenakan penanganan di Hx memang jarang dilakukan karena penanganan Hx dilakukan ketika terjadi *overhaul* besar pada pesawat terbang atau penanganan Hx ini membutuhkan waktu yang lebih banyak.

a. Analisa Themodinamika AC Pesawat terbang

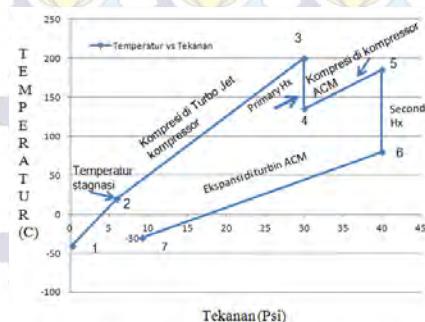
Untuk mengetahui penyebab AC pesawat tidak dingin yang umumnya pada saat di darat, maka perlu di perhitungkan perbedaan kapasitas pendinginannya baik di udara maupun didarat pada pesawat terbang. Maka dari itu dilakukan analisa temperatur baik ketika di udara maupun didarat. Analisa dilakukan dengan metode standar pada gambar grafik T-s dari sistem *bootstrap*.



Gambar 4.3 Grafik T-s AC pesawat terbang menurut sistem *bootstrap* [2]

Gambar 4.3 adalah gambar grafik T-s AC edari sistem *bootstrap*. Grafik ini digunakan untuk melihat kondisi pergerakan temperatur di tiap-tiap komponen AC pesawat. Jika di tinjau dari gambar 4.3 maka perbedaan kondisi AC pesawat terbang ketika di udara dan di darat adalah pada posisi di titik 2. Kondisi AC pesawat terbang ketika berada di udara adalah terjadi *stagnation temperature* yaitu di titik 2. Dan ketika di darat kondisi temperatur pada titik 1 lalu langsung ke titik 3 dan tidak terjadi kondisi di titik 2 atau kondisi *stagnation temperature*. Grafik pada gambar 4.3 adalah difungsikan sebagai membuat perbandingan temperatur antara pesawat terbang dengan kondisi di darat ataupun di udara. Proses perbandingan temperatur menggunakan parameter temperatur yang sama dengan gambar 4.4 untuk pesawat terbang dengan kondisi ketika di udara.

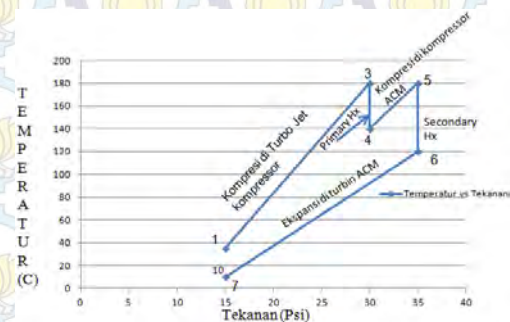
Untuk gambar 4.4 berikut adalah gambar grafik antara temperatur dengan tekanan ketika pesawat berada di udara.



Gambar 4.4 Grafik temperatur vs pressure pesawat terbang kondisi di udara [7]

Menurut gambar grafik tersebut maka didapatkan hasil bahwa tekanan dan temperatur awal adalah -40°C dan 0 Psi. Temperatur dan tekanan selanjutnya naik sampai 35°C dan 6 Psi atau sampai keadaan *stagnation temperature*. Kondisi selanjutnya adalah kondisi dalam jet engine kompresor. Tekanan di dalam sistem tersebut terkompresi hingga 30 Psi dan naiknya temperatur menjadi 200°C . Kemudian kondisi temperatur tersebut menjadi suhu awal masuk pada *primary heat exchanger*. Suhu outlet *primary heat exchanger* tersebut turun hingga 140°C . Suhu dan tekanan tersebut kemudian masuk kedalam inlet kompresor ACM. Karena ada proses kompresi di dalam kompresor ACM maka tekanan dan temperatur menjadi tinggi. Suhu outlet kompresor ACM menunjukkan angka 185°C dan tekanan menjadi 40 Psi yang akan masuk ke dalam inlet *secondary heat exchanger*. Proses yang terjadi pada *secondary heat exchanger* adalah menurunkan temperatur menjadi 85°C . Suhu dan tekanan tersebut masuk kedalam inlet turbin dan keluar di outlet turbin menjadi -45°C dan 9,65 Psi. Proses perubahan yang terjadi pada turbin tersebut dikarenakan proses ekspansi yang dilakukan didalam turbin. Setelah dari turbin lalu suhu tersebut di alirkan ke dalam kabin. Suhu tersebut bisa disesuaikan dengan kebutuhan suhu di dalam cabin penumpang dengan menggunakan *temperature control*. Gambar grafik AC pesawat dengan beberapa kondisi temperatur pesawat terbang ketika diudara tersebut digunakan sebagai perbandingan temperatur pesawat terbang dengan kondisi di darat.

Berikut adalah gambar 4.5 yang menerangkan grafik T-P AC pesawat terbang ketika pesawat terbang berada di darat dengan titik acuan grafik sama dengan grafik sistem *bootstrap* dan temperatur awal sama dengan acuan gambar 4.3



Gambar 4.5 Grafik T-P AC pesawat terbang ketika berada di darat

Berdasarkan grafik pada gambar 4.5, suhu pendingin AC pesawat ketika didarat berada pada suhu 30°C . Pendingin dengan suhu 30°C menghasilkan suhu AC sebesar 15°C yang disalurkan ke dalam cabin.

Grafik pada kedua gambar (gambar 4.4 dan 4.5) terlihat adanya perbedaan bentuk tren grafik AC pesawat terbang. Pada gambar 4.5 grafik bergeser sedikit tekanan pada sumbu tekanan dan bergeser ke atas pada sumbu temperatur pada hasil akhir. Dan juga gambar tren grafik pada proses kompresor ACM dan turbin ACM lebih pendek ketika di darat dibanding di udara. Hal tersebut menunjukkan bahwa apabila suhu pendinginnya semakin besar maka semakin tinggi temperatur yang akan di terima di dalam kabin sehingga kabin akan terasa panas. Dan dapat juga disimpulkan bahwa kapasitas pendinginan memang berbeda jauh, baik ketika didarat maupun diudara. Dengan ditunjukkan oleh perbedaan panjang gambar tren grafik kompresor dan turbin yang berarti bahwa proses kompresi di kompresor ACM lebih pendek di darat dibanding di udara sehingga nantinya berdampak pada turbin ACM dan membuat AC pesawat terbang tidak dingin ketika berada didarat.

b. Sistem pemeliharaan AC pesawat

Standard maintenance manual pesawat terbang adalah suatu patokan/acuan *maintenance* program perusahaan untuk menyesuaikan jadwal pergantian maupun pembersihan (perawatan) pada pesawat terbang. Menurut *standard maintenance manual* dari GMF-Aeroasia, diterangkan bahwa *standard maintenance* untuk *equipment-equipment* AC pada pesawat terbang tidak semua *equipment* terdapat di dalam *standard maintenance manual* tersebut. Berbeda dengan seluruh part-part utama pesawat terbang yang detail tentang *standard* perawatannya. Didalam *standard maintenance manual* tersebut diterangkan *equipment-equipment* AC pesawat terbang tersebut antara lain adalah *cabin temperatur sensor filter* dan *heat exchanger*. *Standard maintenance manual* tersebut terdapat didalam lampiran 3.

Menurut *standard maintenance manual* tersebut *heat exchanger* akan dilakukan pembersihan di *primary* dan

secondary Hx dengan interval tiap 2000 FC (*Flight Cycle*). Dan tiap 12000 FH (*Flight hours*) akan dilakukan pembersihan nitrogen di *heat exchanger* tersebut. Kemudian untuk *temperatur sensor filter* diterangkan di *standard maintenance manual* tersebut bahwa setiap interval 1200 FH (*flight hours*) akan dilakukan pembersihan ataupun terbang pergantian di *temperatur sensor filter*.

Menurut data PIREP, daftar *action* dari permasalahan *air conditioning produce hot air* seperti pergantian *temperatur sensor filter*, *reheater clamp*, *electrical connector*, *temperatur controller*, dan semua *equipment* pendukung AC pesawat terbang, tidak termasuk dalam komponen-komponen yang dijadwalkan maintainancenya. Dalam hal ini hanya penanganan filter dan *heat exchanger* yang terdapat pada *standard maintenance manual*. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa AC pesawat terbang hanya akan dilakukan perawatan apabila adanya permasalahan dalam *record* data PIREP (*Pilot Report*). Hal tersebut juga dikarenakan *equipment* AC pesawat terbang tidak termasuk *equipment* yang membahayakan operasi penerbangan pesawat.

c. Analisa dari Hasil RCFA

RCFA untuk ACM dan Hx pada sistem AC pesawat sudah dilakukan oleh Honey well sebagai *manufacture*nya. Hasil RCFA tersebut disajikan dalam ringkasan sebagai berikut:

RCFA Pada ACM Jenis Pesawat B737NG

ACM (*Air Cycle Machines*) pada pesawat terbang terjadi kerusakan menurut RCFA yang sudah dilakukan ACM. Kerusakan-kerusakannya antara lain adalah kegagalan pada *thrust bearing*, kegagalan pada fan impeler, dan kegagalan pada turbin.



Gambar 5.5 Kegagalan pada thrust bearing

Kegagalan di *thrust bearing* dalam gambar 5.5 menunjukkan kegagalan *thrust bearing* yang terkontaminasi. Hal ini dikarenakan *thrust bearing* yang tercemar dari zat tercemar (kotoran) serta kadar/uap air yang berasal dari kelembaban udara yang masuk ke dalam bearing. Zat tercemar (kotoran) dan kelembaban udara tersebut masuk melalui dalam dan luarnya permukaan pitot tube bearing pendingin dengan dibantu didorong oleh udara dari luar. Besar dan kecilnya partikel dari zat pencemar (kotoran) tersebut dapat menyebabkan abrasi pada permukaan *thrust bearing* ketika dalam kondisi underload. Menempelnya zat tercemar (kotoran) tersebut dapat meningkatkan tekanan awal dan bahkan lebih parah lagi pada pembebanan di *thrust bearing* ketika pada kondisi startup.



Gambar 5.6 Kegagalan pada fan impeller

Kegagalan selanjutnya adalah kegagalan pada fan impeler (seperti ditunjukkan pada gambar 5.6). Kegagalan *fan impeler* adalah kegagalan yang terjadi karena *fracture* pada salah satu blade fan. Hal ini disebabkan oleh faktor *fatigue* yang tinggi pada *fan impeller*. *Fatigue* tersebut diidentifikasi terkait dengan *design limit*. Maksud dari *design limit* adalah limit/batasan suatu pendesainan *fan blade*. *Design limit fan blade* terlampaui karena pembebanan eksitasi pada blade yang tertempel kotoran. Kotoran pada fan impeller menyebabkan ketidak-seimbangan dan memicu getaran berlebihan yang mematahkan blade tersebut.



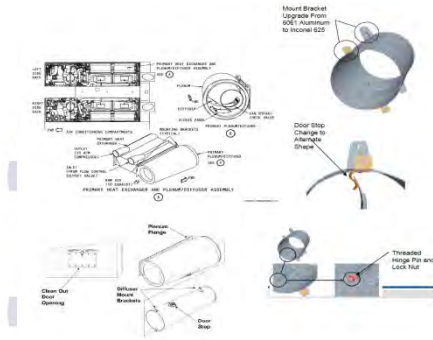
Gambar 5.7 kegagalan pada turbin

Kegagalan selanjutnya pada ACM adalah kegagalan pada turbin yang tertera pada gambar 5.7. Kegagalan pada turbin adalah kegagalan yang timbul *torus erosion* pada turbin. *Torus erosion* ini disebabkan oleh partikel asing (*contamination*) yang tertelan/masuk ke dalam ACM yang mengakibatkan terkikis melalui saluran masuk ACM atau disebut sebagai retak torus berdinding tipis (*cracked thin-wall torus*).

RCFA Pada Heat Exchanger Jenis Pesawat B737NG

Heat exchanger mempunyai *equipment* berfungsi sebagai media pendingin yaitu *cooling air plenum/diffuser*. Di dalam RCFA Hx dijelaskan jenis kegagalan di dalam Hx dan *cooling air plenum/diffuser*.

Di dalam heat exchanger (Hx) terjadi keagalannya adalah tersumbatnya saluran Hx. Tersumbatnya saluran Hx tersebut dikarenakan adanya kotoran atau zat tercemar yang masuk ke dalam *inlet heat exchanger* tersebut. Hal tersebut yang mungkin saja menyebabkan kerusakan ACM atau menyebabkan suhu di dalam cabin tidak dingin yang dikarenakan oleh kontaminasi yang berasal dari *heat exchanger*. Karena berdasarkan dari sistem AC pesawat terbang, proses pertama kali terjadi pendinginan adalah di bagian heat exchanger tersebut (*primary heat exchanger*).



Gambar 5.9 Kegagalan pada cooling plenum/diffuser & Heat exchanger

Menurut gambar 5.10 diterangkan bahwa *cooling plenum/diffuser* terjadi 3 jenis kegagalan yaitu patahnya *mount brackets*, tersumbatnya saluran, dan juga rusaknya pada *door stop*. Untuk kegagalan yang terjadi pada patahnya *mount brackets* penyebabnya adalah dikarenakan oleh meningkatnya tegangan getaran dan suhu. Untuk kegagalan selanjutnya adalah kegagalan pada tersumbatnya saluran. Tersumbatnya saluran pada equipment pendingin ini (*cooling air plenum/diffuser*) dikarenakan adanya zat tercemar atau kotoran yang masuk ke dalam media pendingin tersebut. Hal tersebut juga yang menyebabkan terjadinya AC pesawat tidak dingin karena media pendingin di Hx tersumbat oleh kotoran. Kegagalan selanjutnya adalah kegagalan pada rusaknya *door stop* pada *plenum diffuser*. Rusaknya *door stop* ini dikarenakan terkenanya *impact* secara terus-menerus di *door stop* sehingga menyebabkan rusak.

Berdasarkan dari hasil RCFA yang telah dilakukan, hasil menunjukkan bahwa akar permasalahan dari kegagalan equipment AC pesawat adalah karena terkontaminasi atau kotor. Kotoran (*contamination*) tersebut dapat masuk kedalam sistem AC pesawat terbang melalui udara luar yang dapat mengurangi kerja pendinginan AC pesawat terbang. Kotoran tersebut masuk pertama kali melewati *engine compressor* lalu ke heat exchanger (primary) yang akan diteruskan ke dalam kompressor ACM kemudian masuk secondary Hx dan selanjutnya masuk ke turbin ACM. Pembersihan kedua Hx secara lebih sering akan menghindarkan kerusakan ACM karena penumpukan kotoran. Jika dalam *standard maintenance manual* harus dibersihkan Hx dengan interval 2000 FC maka dirubah interval pembersihan Hx menjadi sekitar 1000 FC.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Sistem AC pesawat terbang sama sekali berbeda dengan sistem AC di rumah tangga yang umum diketahui. Sistem AC pesawat langsung menggunakan udara sebagai media pendingin dan yang didinginkan sekaligus. Hal ini membuat kapasitas pendinginan AC pesawat saat didarat jauh lebih kecil dibanding jika pesawat sedang terbang diketinggian jelajahnya.
2. Pilot Report yang menyatakan ketidak-normalan AC pesawat saat didarat seringkali hanya diselesaikan secara terbatas mengingat waktu transit yang singkat. Hal ini membuat

permasalahan AC produce hot air selalu berulang tidak terselesaikan.

3. Standard Maintenance Manual untuk pesawat terbang juga hanya sedikit menyebutkan pemeliharaan terkait AC. Pemeliharaan rutin terkait AC hanyalah penggantian rutin filter kendali suhu dan pembersihan Hx.
4. RCFA yang dilakukan oleh Honey well sebagai manufacturer AC pesawat menunjukkan bahwa akar masalah kerusakannya adalah akumulasi kotoran.
5. Khusus untuk kondisi Indonesia yang udaranya memiliki kelembaban dan temperatur udara yang relatif lebih tinggi maka diperlukan pembersihan Hx yang lebih sering untuk mencegah penumpukan kotoran dan menghindarkan terjadinya permasalahan AC produces hot air on ground

DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____.2013.ATA CHAPTER 21 AIR CONDITIONING : "aircraft maintenance manual". Jakarta: GMF aeoasia
- [2] Domkundwar, S. 1682. **A Course In Refrigeration & Air Conditioning (Environmental Engineering)**. Delhi : Dhanpat Rai & Son.
- [3] Wang, Shan K. 2001. **Handbook of Air Conditioning and Refrigeration**. United States: Mc Graw-Hill.
- [4] Sikorski, Evgenia. 2010. **Air-Conditioning of Parked Aircraft by Ground-Base Equipment**. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Paper 1086 <<http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1086>>.
- [5] Jones, W.P. January 2001. **Air Conditioning Engineering**. Elsevier Science & Technology Books.
- [6] National Aeronautics and Space Administration. February 2000. **Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment**. NASA
- [7] <http://mxitb.com/?p=184> . "Air Conditioning Pada Pesawat" . diakses pada 07-05-2014.
- [8] _____.2013. ATA CHAPTER 21 SUMMARY STATUS NOVEMBER 2013. Honeywell
- [9]<http://www.ouilevio.com/2013/10/how-does-jet-engine-work.html> . diakses pada 19-05-2014.
- [10] <http://www.thisisecs.com/threewheellpsys.html>. diakses pada 25-05-2014.
- ANDRE, Ludovic. 2013. **BOEING 737 SYSTEM REVIEW**. Smartcockpit
- Antoine, Nicolas E. October 2005. **Framework**
- Ashrae. 2007. **Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications**. Ashrae Handbook
- JKTMQGA. June 2013. **Fleet Reliability Report**. GMF-Aeroasia
- Martinez, Isidoro. 1995-2012. **Aircraft Environmental Control**.
- Sridhar, Kupp. 2013. **Data Collection System**. GMF-Aeroasia
- Sridhar, Kupp. 2013. **Data Display & Reports**. GMF-Aeroasia